XV SBTA Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas
Porto Alegre/RS - 11 a 13 de junho de 2025

Influência da temperatura na resistência ao cisalhamento na interface bloco cerâmico-argamassa

Influence of Temperature on the Shear Strength at the Clay Block-Mortar Interface

ALANA PAULA DA COSTA QUISPE[1], KELVIN RAFAEL DUARTE MACHADO[2], MAURÍCIO MACHADO MENDES PERES[3], GABRIELLI BERTOLDO ESTEVES[4] , RENE QUISPE RODRIGUEZ[5], GIHAD MOHAMAD[6]

[1] Doutoranda, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, alana.quispe@acad.ufsm.br
[2] Aluno especial, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, kelvinrafaelmachado@gmail.com
[3] Mestrando, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, mauricio.mendes@acad.ufsm.br
[4] Mestrando, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, gabrielli.bertoldo.esteves@gmail.com
[5] Professor Doutor, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, rene.rodriguez@ufsm.br
[6] Professor Doutor, PPGECAM – Universidade Federal de Santa Maria/UFSM, gihad@ufsm.br

RESUMO

Ainda há uma carência de pesquisas que abordem a resistência ao cisalhamento na interface bloco-argamassa sob diferentes temperaturas. Diante dessa lacuna, o presente estudo tem como finalidade avaliar a influência de altas temperaturas na resistência ao cisalhamento dessa interface. Para isso, foi adotado um método de ensaio inovador na área de argamassas, comumente aplicado em pesquisas sobre madeiras. Os resultados indicaram que o aumento da temperatura provoca uma redução significativa na resistência ao cisalhamento. Aos 400°C, essa resistência foi reduzida em 67,8% em relação ao valor de referência – temperatura ambiente. A partir das tensões encontradas foi obtida uma fórmula analítica.

Palavras-chave: Cisalhamento. Argamassa. Bloco cerâmico. Altas temperaturas.

ABSTRACT

There is still a lack of research addressing the shear strength at the block-mortar interface under different temperatures. To fill this gap, the present study aims to evaluate the influence of high temperatures on the shear strength of this interface. For this purpose, an innovative testing method was adopted in the field of mortars, which is commonly applied in wood-related research. The results indicated that increasing the temperature significantly reduces shear strength. At 400°C, this strength decreased by 67.8% compared to the reference value at room temperature. Based on the obtained shear stresses, an analytical formula was derived.

Keywords: Shear. Mortar. Clay block. High temperatures.

Como citar:
QUISPE, A. P. C.; MACHADO, K. R. D.; PERES, M. M. M.; ESTEVES, G. B.; RODRIGUEZ, R. Q.; MOHAMAD, G. Influência da temperatura na resistência ao cisalhamento na interface bloco cerâmico-argamassa. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 2025, Porto Alegre. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2025.

INTRODUÇÃO

Construções em alvenaria ainda são populares na construção civil em diversos países, como Brasil, Peru, Paquistão, Itália e México, destacando-se pelo seu fácil manuseio e baixos custos na construção [1], [2], [3]. Cerca de 70% dos edifícios existentes são de alvenaria não reforçada [4]. Devido à natureza ortotrópica da alvenaria, o comportamento do sistema é inelástico e complexo mesmo sob níveis de carga baixos. A ligação entre as unidades e a argamassa é, geralmente, a região mais vulnerável quando o sistema estrutural é submetido a esforços. Isso ocorre porque fissuras e deslizamentos tendem a se concentrar principalmente nas juntas da alvenaria [5], [6]. As argamassas de cimento são amplamente utilizadas nas juntas entre as unidades e se destacam como um dos materiais mais empregados na construção civil, especialmente na construção em alvenaria [7], [8].

Para avaliar o comportamento ao cisalhamento das paredes, é importante compreender as propriedades mecânicas das unidades de alvenaria, do material que compõe a junta de assentamento e da ligação entre ambos os componentes [9], [10], [11]. Atualmente, informações relacionadas às propriedades das paredes de alvenarias confinadas ainda são escassas na literatura. Esses parâmetros são fundamentais para o dimensionamento e modelagem numérica de alvenarias [12], [3], [13].

Em altas temperaturas, a falha por cisalhamento compromete a integridade estrutural de edifícios de alvenaria, devido à fatores como geometria da parede, condições de contorno e propriedades dos materiais constituintes [14], [15]. Embora a literatura apresente diversos estudos sobre o desempenho das alvenarias e seus materiais constituintes, a maioria concentra-se na resistência axial em temperatura ambiente e em altas temperaturas [16], [17].

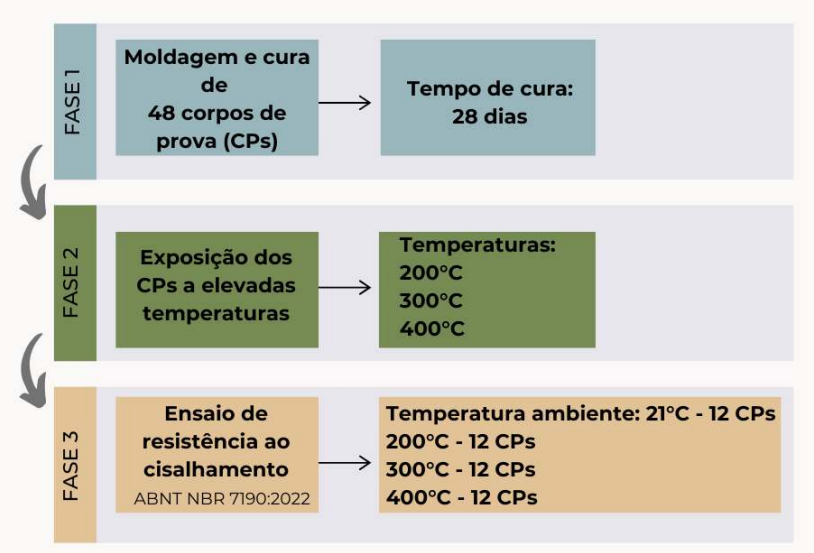
A escassez de estudos sobre a resistência ao cisalhamento na interface do bloco com a argamassa pode estar relacionada à dificuldade de encontrar equipamentos especializados para a aplicação do cisalhamento direto [18]. Como consequência, muitas pesquisas adotam metodologias inovadoras para contornar essa limitação. Um exemplo disso é o uso do ensaio de cisalhamento direto de solos (ASTM D3080-23) [13] para a caracterização reológica de argamassas [18]. Além disso, há a aplicação do ensaio de compressão diagonal para identificação dos parâmetros de cisalhamento na alvenaria [19] e o estudo da resistência ao cisalhamento inclinado na ligação de materiais de reparo reforçados com fibra de aço [20].

Estudos sobre resistência ao cisalhamento geralmente se concentram em condições de temperatura ambiente. No entanto, considerando que mais de um terço dos incêndios globais ocorrem em edificações [21], [22], torna-se fundamental avaliar o efeito de altas temperaturas na interface bloco-argamassa. A resistência ao cisalhamento reduz com o aumento da temperatura, apresentando quedas entre 18% e 42% em temperaturas de até 500°C [23]. Assim, o presente estudo tem como finalidade caracterizar o comportamento de cisalhamento na interface entre o bloco cerâmico e a argamassa de assentamento quando submetidos a altas temperaturas mediante o teste de cisalhamento feito geralmente, em corpos de prova de madeira conforme a NBR 7190-3 [24].

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em três etapas principais conforme o fluxograma mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Programa Experimental.



Fonte: Os autores (2025).

A Fase 1 da pesquisa envolveu a seleção dos materiais a serem utilizados e a definição do traço da argamassa. Em seguida, foram preparados os moldes e confeccionados os espécimes. O bloco cerâmico empregado foi identificado como um bloco cerâmico estrutural com resistência à compressão de 10 MPa, os quais foram seccionados em prismas retangulares conforme mostrado pela Figura 2.

Figura 2 – Blocos cerâmicos seccionados.



Fonte: Os autores (2025).

A argamassa utilizada foi produzida *in loco*, do tipo argamassa de assentamento com cimento, cal e areia, no traço em volume de 1:0,5:4,5 e fator água/cimento igual a 0,8. O cimento utilizado foi do tipo CP IV 32 RS (Cimento Portland Pozolânico Resistente a Sulfatos), composto por silicatos e aluminatos de cálcio, sulfato de cálcio, material carbonático e pozolana. A cal empregada foi a hidratada especial CH-II. A água utilizada veio das instalações hidráulicas do laboratório. O agregado miúdo utilizado foi uma areia média, lavada, com diâmetro máximo de 1,2 mm. As propriedades da argamassa estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades da argamassa.

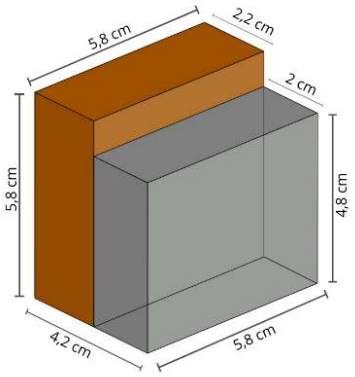
Material	Resistência média à compressão (MPa)	Resistência média à tração na flexão (MPa)	Consistência média - Espalhamento (mm)
Argamassa	9,04	2,135	240

Fonte: Os autores (2025).

A produção dos corpos de prova seguiu as diretrizes da NBR 7190-3 [24] para ensaios de cisalhamento. Conforme essa norma técnica, recomenda-se o uso de espécimes prismáticos retangulares com uma indentação para evitar a rotação durante a aplicação da força de cisalhamento [25]. No entanto, devido às limitações na espessura do bloco cerâmico, alguns ajustes foram necessários.

Cada bloco foi seccionado, resultando em amostras com dimensões de 5,8 cm × 5,8 cm ± 1 cm, enquanto a espessura de cada espécime foi mantida em 2,2 cm ± 1 cm, respeitando a espessura original da parede do bloco cerâmico. Para a argamassa, o comprimento foi mantido em 5,8 cm ± 1 cm, a altura em 4,8 cm ± 1 cm e a espessura em 2 cm, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 – Dimensões dos espécimes utilizados.



Fonte: Os autores (2025).

Para a moldagem da argamassa, foram desenvolvidos moldes de encaixe por meio de impressão 3D, utilizando filamento PLA de cor branca, conforme visto na Figura 4. A indentação de 1 cm também foi produzida por impressão 3D. Após a moldagem, os espécimes foram submetidos a um processo de cura por 28 dias, sob temperatura constante de 21ºC ± 1, para posterior aquecimento e ensaio de resistência ao cisalhamento. Após os 28 dias, foram

realizados os ensaios de resistência à compressão axial e à tração na flexão conforme NBR 13279 [26].

Figura 4 – Moldes de encaixe produzidos por impressão 3D.

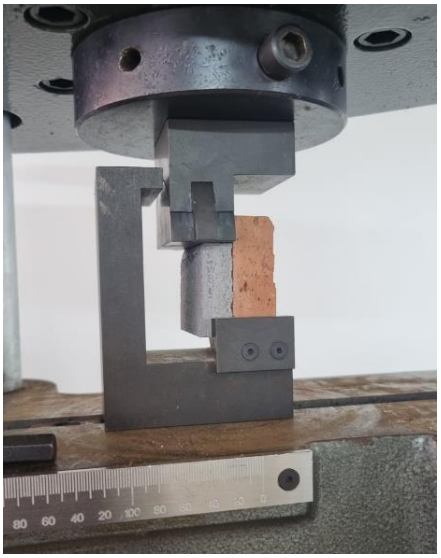


Fonte: Os autores (2025).

A Fase 2 consistiu no aquecimento dos corpos de prova, realizado em um forno elétrico tipo mufla da marca Sanchis, com capacidade de aquecimento de até 1050°C e potência de 12 kW. As temperaturas analisadas foram: temperatura ambiente (21ºC ± 1), 200°C, 300°C e 400°C. Para cada temperatura foram produzidos 12 corpos de prova, totalizando 48 espécimes. O aquecimento foi realizado a uma taxa de 4°C/min, mantendo os espécimes na temperatura máxima por uma hora. Em seguida, o resfriamento ocorreu de forma natural e lenta.

Na Fase 3 da etapa experimental foi realizado o ensaio de resistência ao cisalhamento na interface bloco cerâmico e argamassa realizado com base na NBR 7190-3 [24] conforme Figura 5. O ensaio de cisalhamento foi realizado na Máquina Universal de Ensaios, hidráulica, marca Amsler, com capacidade máxima de 20 toneladas pertencente ao Laboratório de Produtos Florestais da Universidade Federal de Santa Maria.

Figura 5 – Ensaio de resistência ao cisalhamento.



Fonte: Os autores (2025).

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir do ensaio de resistência ao cisalhamento, foram obtidos os resultados apresentandos na Tabela 2, que mostra a tensão de cisalhamento média para cada temperatura analisada, juntamente com o respectivo desvio padrão. Esses valores experimentais foram utilizados para realizar um ajuste numérico, permitindo a obtenção de uma fórmula analítica capaz de representar o comportamento da tensão de cisalhamento em função da temperatura de aquecimento.

Tabela 2 – Resistência ao cisalhamento na interface bloco cerâmico e argamassa.

Temperaturas (°C)	Tensão cisalhante média (MPa)	Desvio Padrão
21°C – Temperatura ambiente	0,2251	0,0633
200°C	0,1293	0,0435
300°C	0,0809	0,0165
400°C	0,0725	0,0206

Fonte: Os autores (2025).

Em comparação com a resistência ao cisalhamento de referência, medida em temperatura ambiente, verificou-se uma redução de 42,55% a 200°C, de 64,06% a 300°C e de 67,8% a 400°C.

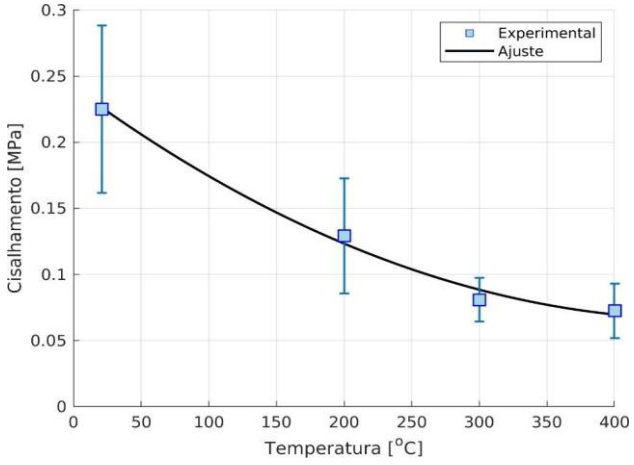
Foram testados diversos tipos de ajuste, no entanto, o ajuste que teve a maior precisão foi o ajuste quadrático. A Figura 6 mostra o ajuste quadrático obtido a partir dos dados da Tabela 2. A função quadrática tem a forma apresentada pela Equação (1):

$$\tau(T) = 7{,}97 \times 10\text{-}7\ T^2 - 0{,}0007469T + 0{,}2408\ [\text{MPa}] \quad (1)$$

onde *T* é a temperatura em °C e τ é a tensão de cisalhamento.

A fórmula tem um coeficiente R^2 de 0,993, o que demonstra uma alta precisão do ajuste.

Figura 6 – Resistência ao cisalhamento em altas temperaturas.



Fonte: Autoria Própria.

CONCLUSÕES

Este estudo representa uma etapa inicial na análise da resistência ao cisalhamento na interface entre bloco cerâmico e argamassa. Os resultados indicam que , com o aumento da temperatura, houve uma redução da resistência. Aos 400°C, a resistência ao cisalhamento reduziu em 67,8% com relação ao valor de referência em temperatura ambiente.

A fórmula analítica obtida dos resultados experimentais, mostrou-se adequada na caracterização do comportamento da tensão de cisalhamento em função da temperatura de aquecimento, podendo ser útil em cálculos preliminares de projeto. No entanto, a sua aplicabilidade é altamente dependente das propriedades físicas e mecânicas da argamassa utilizada. Ainda, recomenda-se a realização de novos ensaios experimentais, analisando diferentes temperaturas.

REFERÊNCIAS

[1] ALECCI, V.; FAGONE, M.; ROTUNNO, T.; STEFANO, M. Shear strength of brick masonry walls assembled with different types of mortar. **Construction and Building Materials**, v. 40, p.1038-1045, 2013.

[2] AŞIKOĞLU, A.; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B.; PANTÒ, B. Pushover analysis of unreinforced irregular masonry buildings: Lessons from different modeling pproaches. **Engineering Structures**, v. 218, 2020.

[3] LAVADO, L.; GALLARDO, J. Shear strength of brick mortar interface for masonry in Lima city. **Tecnia**, v. 29, n. 2, 2019.

[4] WANG, C.; SARHOSIS, V.; NIKITAS, N. Strengthening/Retrofitting Techniques on Unreinforced Masonry Structure/Element Subjected to Seismic Loads: A Literature Review. **The Open Construction and Building Technology Journal**, v. 12, p. 251-268, 2018.

[5] GAJJAR, P. N.; GABRIELLI, E.; MARTIN-ALARCON, D. C.; PEREIRA, J. M.; GABOR, A.; FERRIER, E.; JACQUELIN, E.; HAMELIN, P. Analysis and modelling of the in-plane shear behaviour of hollow brick masonry panels. **Construction and Building Materials**, v. 20, n. 5, p. 308-321, 2006.

[6] LUCCIONI, B.; ROUGIER, V. C. Shear behaviour of brick–mortar interface in CFRP retrofitted or repaired masonry. **International Journal of Mechanical Sciences**, v. 52, n. 4, p. 602-611, 2010.

[7] DIAO, Y.; BAI, J.; HUANG, J.; YANG, C. A high-performance model for direct shear behavior of biomimetic carbonate precipitation treated mortar. **Materials Letters**, v. 349, 2023.

[8] TIAN, P.; YANG, W.; LU, J.; WU, X.; WANG, Z. Study on the shear properties of masonry pagoda mortar and its influencing factors. **Case Studies in Construction Materials**, v. 20, 2024.

[9] BARATTUCCI, S.; SARHOSIS, V.; BRUNO, A. W.; D'ALTRI, A. M.; MIRANDA, S. CASTELLAZZI, G. An experimental and numerical study on masonry triplets subjected to

monotonic and cyclic shear loadings. **Construction and Building Materials**, v. 254, 2020.

[10] SARANGAPANI, G.; VENKATARAMA REDDY, B. V.; JAGADISH, K. S. Brick-Mortar Bond and Masonry Compressive Strength. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v. 17, n.2, 2005.

[11] SARHOSIS, V.; SHENG, Y. Identification of material parameters for low bond strength masonry. **Engineering Structures**, v. 60, p.100-110, 2014.

[12] HAACH, V. G.; VASCONCELOS, G.; LOURENÇO, P. B.; Parametrical study of masonry walls subjected to in-plane loading through numerical modeling. **Engineering structures**, v. 33, 4, 2011.

[13] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 3080**: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. Philadelphia, 2023.

[14] FERRETTI, F.; POZZA, L.; MAZZOTTI, C. Shear-Compression Test on Masonry Walls with an Innovative Experimental Setup. **Structural Analysis of Historical Constructions** (SAHC 2023), p. 514-526, 2023.

[15] LEONARDI, M. L.; CURSI, S.; OLIVEIRA, D. V.; AZENHA, M.; GIGLIARELLI, E. Linked Data for the Categorization of Failures Mechanisms in Existing Unreinforced MAsonry Buildings. CONVR 2023 - **Proceedings** of the 23rd International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, 2023.

[16] KANAGARAJ, B.; ANAND, N.; JERRY, R.; RAJ, R. J.; LUBLOY, E. Axial compressive behaviour and physical characteristics of high strength self-compacting geopolymer concrete (HSGC) columns exposed to elevated temperature. **Construction and Building Materials**, v. 401, 2023.

[17] ALTUNISIK, A. C.; OZTURK, M. M.; GENÇ, A. F.; GUNAYDIN, M.; KAYA, A.; AKBULUT, Y. E.; SUNCA, F. Dynamic characteristics changes of masonry arches exposed to elevated temperature. **Construction and Building Materials**, v. 418, 2024.

[18] ARAÚJO, R. C.; CARASEK, H. Evaluating the sensitivity of direct shear testing of soils for rheological characterization of masonry mortars. **Construction and Building Materials**, v. 429, 2024.

[19] CALDERINI, C.; CATTARI, S.; LAGOMARSINO, S. The use of the diagonal compression test to identify the shear mechanical parameters of masonry. **Construction and Building Materials**, v. 24, n. 5, 2010.

[20] FENG, S.; LYU, J. The method of slant shear test with various slant shear angles decouple cohesion and friction of substrate-overlays interface. **Construction and Building Materials,** v. 456, 2024.

[21] CTIF, Centre of Fire Statistics (International Association of Fire and Rescue Services). **World Fire Statistics**, Report nº22, 2018.

[22] MEDVED, S. Buildings Fires and Fire Safety. In: **Building Physics**. Springer Tracts in Civil Engineering. Springer, Cham, 2022.

[23] AL-OWAISY, S. R. Effect of High Temperatures on Shear Transfer Strength of Concrete. **Journal of Enginnering and Development** (Al-Mustansyriah University), v. 11, n. 1, 2006.

[24] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190-3** – Projeto de Estrutura de madeira. Parte 3: Métodos de ensaio para corpos de prova isentos de defeitos para madeiras de florestas nativas. Rio de Janeiro. 2022.

[25] MASSAYUKI, M.; MATOSKI, A.; MAGAJEWSKI, C.; MACHADO, J. Resistência a corte paralela a la tensión de la fibra de la madera, por medio de la prueba de punzonamiento propuesta. **Revista Ingeniería de Construcción**, v. 29, n. 1, 2014.

[26] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro. 2005.